

# 저마찰 고속 쿠션 실린더 특성 해석

## An Analysis on the Friction Forces in Low Friction and High Speed Cushion Cylinders

\*전용식<sup>1</sup>, #주민진<sup>2</sup>, 오영철<sup>3</sup>

\*Y. S. Jeon<sup>1</sup>, #M. J. Ju(jumj21@famco.kr)<sup>2</sup>, Y.C.Oh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(주)팜코 기술연구소, <sup>2</sup>(주)팜코 기술연구소, <sup>3</sup>(주)팜코 기술연구소

Key words : Friction Force, Pneumatic Cylinder , Roughness, Lubrication and No Lubrication

### 1. 서론

저마찰·고속 쿠션 실린더의 응용은 최근에 압축공기를 작동유체로한 각종 피로시험기, 시뮬레이터 및 첨단시험장비의 위치, 속도 및 힘제어유닛등에 채택되어 활용되면서부터 급증하는 추세에 있다.

쿠션실린더의 경우, Belforte(1)와 Brokelmann(2)등이 쉘의 거동 특성에 대한 실험적 연구와 쉘 재질별로 기계적, 화학적, 물리적 성질에 대하여 단동실린더를 이용하여 마찰력을 결정한적이 있으나 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 저마찰화 및 고속화 기술을 위한 쿠션실린더의 마찰특성에 대하여 고찰함으로써 공압 위치제어 시스템 모델링, 스틱슬립현상 규명 및 보수유지기간 예측 등 다양한 정보를 획득하는데 기여하고자 한다.

따라서, 쿠션실린더의 마찰력에 영향을 주는 지배인자를 규명하기 위하여 공급압력, 피스톤속도 등 작동 조건을 변화시켜가면서 쉘 종류별, 실린더튜브 종류별, 윤활과 무급유 등에 따라 마찰력을 측정하였다.

실험장치는 서보밸브를 이용한 서보제어와 100KHz A/D, D/A Converter를 사용하여 1채널당 샘플링 개수는 초당 2300개로 하여 데이터의 정확성을 도모하였으며, 마찰력은 압력과 피스톤 속도의 지배 함수이며 다른 조건들은 미흡한 영향하게 끼침을 알았다.

### 2. 마찰력 장치 및 방법

#### 2.1 실험장치

마찰력을 측정하기 위하여 Fig.1과 같이 실린더튜브와 피스톤 쉘 시스템을 설계하였다. 시험할 저마찰고속 쿠션실린더는 이중 피스톤로드 복동실린더로 압축공기 압력과 피스톤 속도는 서보밸브에 의해 제어 되도록 하였으며 피스톤로드에 인장, 압축겸용 로드셀을 부착하고 직선운동 메카니즘에 연결하였으며, 위치 및 속도 센서를 부착하였다.

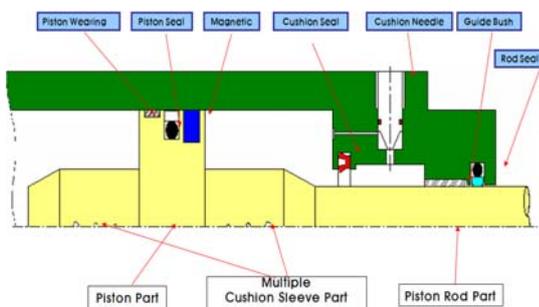
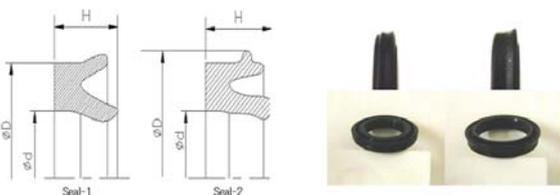


Fig.1 Schematic of Cylinder Tube-Piston Seal System



(a) Seal Profile

치수	Seal 종류	
	Seal-1	Seal-2
H	3mm	1.5mm
D	16.4mm	16.4mm
d	12mm	10mm

(b) Seal Dimension

Fig.2 Seal Profile and Dimension

피스톤 쉘은 Fig.2와 같은 구조의 V자형 쉘이고 재질은 NBR을 사용하였다. 또한 실린더 튜브는 알루미늄과 스테인레스강을 사용하였으며 피스톤 직경은  $\phi 16mm$  행정은 200mm의 실린더를 채택하였다. 피스톤과 튜브 틈새는  $80\mu m$ 이고, 튜브 조도 Ra는 알루미늄이 0.12, 스테인레스강이  $0.31\mu m$ 였다. 실험은 크게 튜브 재질을 달리하고 동종의 쉘을 사용하여 윤활을 하지 않은 상태에서 압력 및 속도 변화에 의한 마찰력 특성 변화와 실린더 튜브 1기종에 대하여 쉘 종류를 달리하고 윤활을 한 상태에서 압력 및 속도 변화에 의한 마찰력 특성 변화를 실험으로 규명하였다.

최대속도 3m/s이고 최대압력을  $8kgf/cm^2$ 로 하여 실험하였으며 피스톤 쉘 마찰력,  $F_s$ 는 일정속도, 정상상태 운동으로 Fig.1.에서 구해보면 다음과 같다.

$$F_s = F_P - (F_c + F_{G1} + F_{G2}) \dots (1)$$

여기서,  $F_P$ 는 로드 셀에 의해 측정되는 구동력

$F_c$ 는 직선운동기구의 LM 베어링력

$F_{G1}$ 과  $F_{G2}$ 는 피스톤 로드 쉘 마찰력이다.

#### 2.2 실험방법

Fig.3은 피스톤쉘 마찰력을 측정하기 위한 실험장치 개략도이며, Fig.4는 실험장치 사진이다.

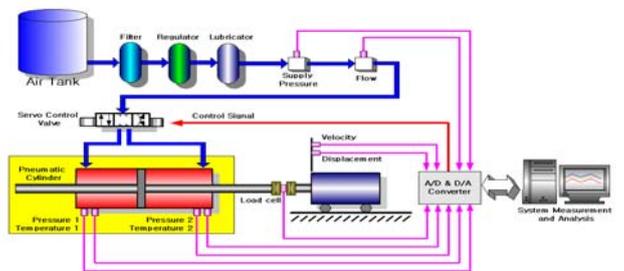


Fig.3 Experimental Apparatus



Fig.4 Photo of Experimental Apparatus

이 시험장치는 컴퓨터에 의해 전자동으로 제어 및 계측할 수 있도록 구성하여 D/A변환기에 의해 서보밸브에 제어신호를 보내면 서보밸브는 0~10Volt 신호에 의해, 0~5Volt에서는 실린더가 후진하고, 5~10Volt에서는 실린더가 전진하여 전압 값에 비례하여 실린더 피스톤 속도가 변한다.

피스톤속도는 0~10Volt에 비례하여 0~3m/s로 변하며 이의 값은 위치/속도센서에 의해 계측되어 A/D 변환기에 의해 데이터를 획득하도록 하였다.

압력은 레귤레이터에서 조절되며 마찰력은 로드셀에 의해 데이터를 계측하여 컴퓨터에 저장하도록 하였으며 100Hz A/D, D/A 변환기를 사용하여 1채널당 샘플링 개수는 초당 2300개로 하여 실험데이터의 정확성을 도모하였다.

### 3. 실린더 실험결과 고찰

Fig.5는 Seal-2에 대하여 윤활을 하지 않은 상태에서 알루미늄 실린더튜브에 대한 각각의 속도별 압력 증가에 의한 쉘 마찰력과 각각의 압력별 속도변화에 의한 쉘 마찰력을 측정된 결과로써 속도가 증가할수록 쉘 마찰력 증가는 거의 없으나 압력이 증가할수록 쉘 마찰력은 급격하게 증가하는 추세를 나타내고 있다.

Fig.6은 Seal-2에 대하여 윤활을 하지 않은 상태에서 스테인레스강 튜브에 대한 각각의 속도별 압력증가와 각각의 압력별 속도 변화에 의한 쉘 마찰력을 측정된 결과로써 속도가 증가할수록, 압력이 증가할수록 쉘 마찰력이 급격히 증가함을 알 수가 있다.

Fig.7은 Seal-1에 대하여 윤활을 한 상태에서 알루미늄 실린더 튜브를 사용하여 속도와 압력을 증가시켜가면서 쉘 마찰력을 측정된 결과이며 속도와 압력 의 증가에 따른 쉘 마찰력 증가가 크게 나타났으며, Fig.8은 Seal-2에 대하여 윤활을 한 상태에서 알루미늄 실린더튜브를 사용하여 Fig.7과 같이 실험한 결과이며 결론적으로 Fig.7과 같이 속도와 압력 변화에 따라 쉘마찰력이 급증하였다.

따라서 실험결과 쉘마찰력은 작동압력과 속도에 지배적인 영향을 받고 있음을 알았으며, 쉘마찰력,  $F_s$ 는 실험결과를 토대로 아래 식과 같이 속도와 압력에 비례한다고 추정할 수가 있겠다.

$$F_s = F_o + K_v V + K_p P \dots\dots(2)$$

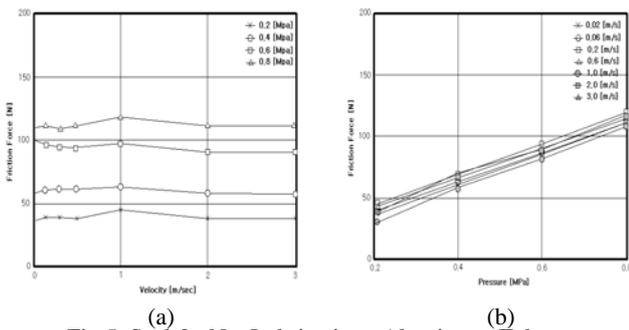


Fig.5 Seal-2, No Lubrication, Aluminum Tube

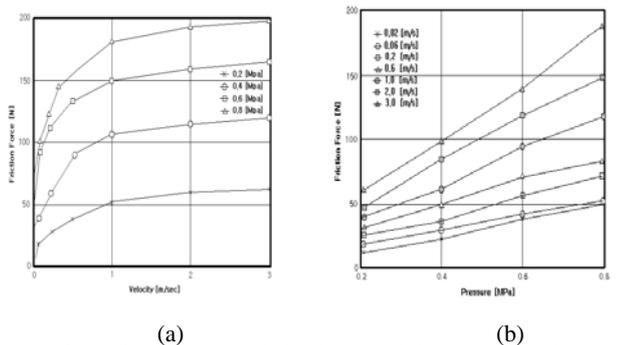


Fig.6 Seal-2, No Lubrication, Stainless Steel Tube

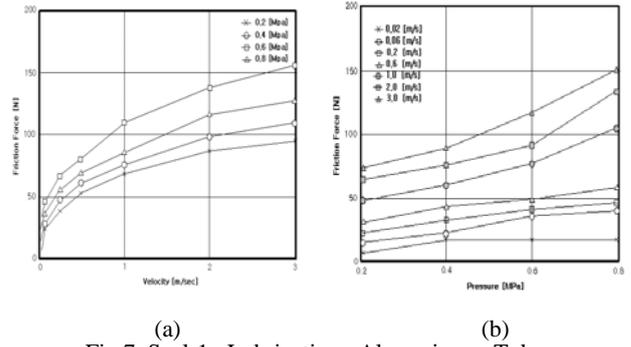


Fig.7 Seal-1, Lubrication, Aluminum Tube

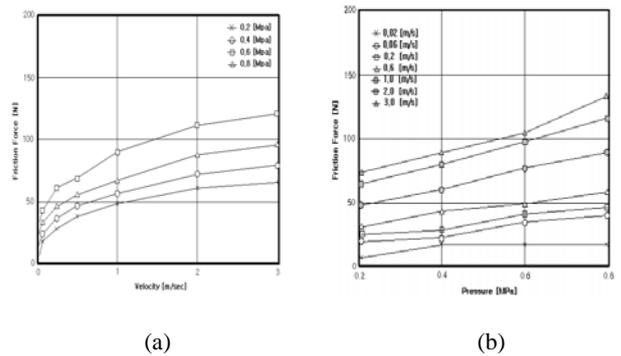


Fig.8 Seal-2, Lubrication Aluminum Tube

### 4. 결론

쿠션실린더 쉘의 마찰력을 압력, 속도, 윤활상태 등 작동조건 변화, 튜브 조도 및 재질변화, 쉘형상변화등에 대하여 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 쉘마찰력은 윤활 또는 무윤유상태, 실린더튜브 재질 및 조도, 쉘형상보다는 작동압력과 속도의 함수임을 확인하였다.
- (2) 쉘마찰력은 실린더튜브 조도에 따라 감소하는 경향을 나타냈으며, 알루미늄튜브가 스테인레스강튜브에 비해 마찰력이 작다는 사실을 알았다.
- (3) 쉘 마찰력은 쉘형상과 치수에 영향을 나타냈으며, 실접촉부의 단면적이 큰 쉘이 마찰력이 크게 증가함을 알 수 있었다.

### 후기

본 연구는 지식경제부와 에너지관리공단이 지원하는 에너지지원기술개발 사업 “고성능 On/Off Actuator 개발” 과제지원으로 연구되었으며, 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. Brokelmann, J., “Pneumatic Seal Material for Oil-Free Air” , Fluid Techniche Nuove, Milano, pp. 50-58, 1989.
2. Belforte, G., D’ Alfio, N. and Raparelli, T., “Experimental Analysis of Friction Forces in Pneumatic Cylinders” , Journ. of Fl. Cont., 20, pp. 12-60, 1989.
3. Gawrys, E., and Kollek, W., “The Effect of the Operating Conditions on the Design of the Seals for Reciprocating Motion” , Proc. 10th Int. Conf. on Fluid Sealing, F4, pp.285-294, 1984.
4. Wernecke, P.W., “Analysis of the Reciprocating Sealing Process” , proc. of 11th Int. Caonf. of Fluid Sealing, E1, pp. 249-277, 1987.
5. Prokop, H.J. and Muller.H.K., “Film Thickness, Contact Pressure and Friction of PTFE Rod Seals” , proc. 12th. Int. Conf. on Fluid sealing, C1, pp.147-163, 1989.